

学校编码: 10384
学 号: 200224021

分类号_____密级_____
UDC _____

厦 门 大 学
硕 士 学 位 论 文
红外吸收式光纤甲烷气体传感器的研制
The Development of an Optical Fiber Methane Sensor
by Infrared Absorption Method

许 宏 高

指导教师姓名: 高 文 秀 教 授

专 业 名 称: 凝 聚 态 物 理

论文提交日期: 2005 年 月

论文答辩时间: 2005 年 月

学位授予日期: 2005 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2005 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文而产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

据统计,瓦斯爆炸已占到中国煤矿事故的80%以上,造成的伤亡占到特大事故伤亡人数的九成。瓦斯的主要成分是甲烷,具有易燃、易爆特性,对其的实时监测与报警是防止煤矿瓦斯爆炸事故的有效措施之一,对煤矿的安全生产有着十分重要的意义。

本文首先介绍了目前矿下使用的瓦斯报警仪器及其存在的问题,然后介绍了气体分子红外光谱吸收理论。利用气体的红外光谱吸收原理,对吸收式光纤甲烷气体传感器进行了研究,设计了一套甲烷气体浓度检测系统。本系统采用价廉的1.66微米波段的LED作为光源,PIN管作为光电探测器,光纤作为传输媒质,用可弯曲的内壁镀金毛细玻璃管作为气体吸收室,实现了对甲烷气体浓度的监测。本系统具有选择性高,响应速度快、不会中毒,寿命长的特点。系统的结构简单、紧凑,只需根据其它气体的吸收峰位置,更换适当光源和探测器,就可以实现对其它气体的监测。

根据差分吸收原理,在系统光路中设立了一只参比探测器来监测光源信号强度的波动,消除了由于光源信号波动对测量结果的影响,系统的灵敏度得到了很大的提高。此外,毛细玻璃管作为气室的使用使系统设计成便携式成为可能。

在论文的最后部分,用试验验证了上述理论和系统的设计。结果表明传感器性能良好,与理论分析相一致。然后,给出了影响传感器系统灵敏度进一步提高的因素。

关键词: 红外吸收; 甲烷; 传感器

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

Statistically, firedamp explosions have been up to 80 percent of all the coal mine accidents in China. The number of the casualty it caused was 90 percent of all the extremely large accidents. Methane is the major constituent of firedamp, which is inflammable and explosive. The real-time monitoring and detection of Methane is an effective measure to prevent the explosions under coal mines and is of great significance to the safety of coal production.

The paper introduces the instruments used under present mines firstly and points out the main problems of them. Then, the IR spectrum absorption theory of gas molecules is explained. According to the theory, study was carried on the fiber optical Methane sensor by IR absorption method. A detection system was designed to measure the Methane concentration. The system used a cheap 1.66 μm LED as light source, two PIN photodiodes as the detectors, optical fiber as the light signal transmission medium, a flexible inner coated glass capillary as the absorptive cell. The system is selectively high, quick-respond, non-cross-talking and life long. The structure of the system is compact and simple. The same sensor technology may be applied to a range of other toxic and explosive gases which possess near infrared absorption lines by using appropriate wavelength of light source and detectors.

The method of differential absorption was used to eliminate the magnitude undulation of the LED, thus the sensitivity of the sensor was greatly improved. In addition, the using of the capillary makes it feasible to fabricate a portable sensor for Methane.

Experiments were conducted to validate the theory and the system design. The results show a good accordance with the theory analysis. Factors affecting

厦门大学博硕士论文摘要库

the sensitivity of the sensor were given at the final parts of the thesis.

Key words: IR absorption; methane; sensor

厦门大学博士论文摘要库

目录

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 气体传感器的种类	1
1.2.1 气体传感器的分类	2
1.2.2 光纤气体传感器	2
1.3 目前矿下使用的瓦斯报警仪器及存在问题	4
1.4 本课题的研究意义与应用前景	6
参考文献	7
第二章 红外吸收式气体传感的基本理论	9
2.1 红外吸收光谱	9
2.1.1 吸收峰类型	9
2.1.2 吸收峰位置	11
2.1.3 吸收峰强度	11
2.2 气体分子的选择吸收	12
2.3 吸收式光纤气体传感器的工作原理	12
2.4 甲烷气体吸收谱线的选择	14
参考文献	17
第三章 实验系统设计和元器件的选取	18
3.1 实验系统的设计	18
3.1.1 差分吸收法	18
3.1.2 甲烷传感器实验系统结构框图	21
3.2 元器件的选取	23
3.2.1 光源的选择	23

3.2.2 自聚焦透镜的选择	26
3.2.3 光纤的选择	29
3.2.4 气室的设计	30
3.2.5 滤光片的选择	31
3.2.6 光电探测器的选择	31
3.2.7 锁相放大器	34
参考文献	37
第四章 传感器试验与结果分析	38
4.1 系统调试	38
4.1.1 系统光路的调节	38
4.1.2 电路的调节	38
4.2 试验过程	39
4.3 试验结果	39
4.4 传感器的灵敏度分析	41
参考文献	43
致 谢	44

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Introduction	1
1.2 Types of Gas Sensor	1
1.2.1 Classification of Gas Sensors	2
1.2.2 Fiber Optical Gas Sensors	2
1.3 Present Methane Detectors used Under Mines and the Problems	4
1.4 The Research Significance and The Applied Prospects of The Thesis.....	7
Reference	8
Chapter 2 The Basic Theories of the Gas Sensors By IR Absorption	9
2.1 Spectrum of IR Absorption	9
2.1.1 Types of Absorptive Peak	9
2.1.2 Positions of Absorptive Peak	10
2.1.3 Strength of Absorptive Peak	11
2.2 Selective Absorption of Gas Molecules	12
2.3 Principles of the Fiber Optical Gas Absorptive Sensors...	12
2.4 Selection of The Methane Absorptive lines	14
Reference	17
Chapter 3 System Design and Selections Of The	

Elements and Instruments	18
3.1 System Design	18
3.1.1 Differential Absorption Method	18
3.1.2 Block Diagram of The Experimental System of Methane Sensor	21
3.2 Selections of Elements and Instruments	23
3.2.1 Selection of Light Source	23
3.2.2 Selection of GRIN	26
3.2.3 Selection of Optical fiber	29
3.2.4 Design of The Gas cell.....	30
3.2.5 Selection of Optical Filters	31
3.2.6 Selection of Photo detectors	31
3.2.7 LOCK-IN Amplifier	34
Reference	37
Chapter 4 Tests of sensor and The Results	38
4.1 Adjustment of The System	38
4.1.1 Adjustment of The System Optical Paths	38
4.1.2 Adjustment of The Electrocircuit	38
4.2 Process of The Experiment	39
4.3 Results of The Experiment	39
4.4 Analysis of The System Sensitivity	41
Reference	43
Acknowledgements.....	44

厦门大学博硕士论文摘要库

第一章 绪论

1.1 引言

据统计，中国瓦斯事故已占到煤矿事故的 80 % 以上，造成的伤亡占到特大事故伤亡人数的九成。近期中国接连发生的煤矿特大事故，几乎全部是由瓦斯爆炸引起的。“瓦斯不治，矿无宁日。”国家安全生产监督管理局副局长赵铁锤指出，瓦斯已经成为导致中国煤矿特大恶性事故的“头号杀手”。瓦斯赋存于煤层及周围岩层中，是井下有害气体的总称，主要成分为甲烷，具有易燃易爆特性。甲烷在空气中遇到明火或电火花就会爆炸，其爆炸的浓度下限是 5.3 %，上限是 15 %^[2]。因此，防止煤矿瓦斯爆炸事故的发生一直是煤矿安全生产的头等大事。

此外，工业废气、汽车尾气、家庭使用的液化石油气、天然气、煤气等有毒性及可燃性气体不仅严重污染了环境，同时也危害着人类的健康。温室效应、酸雨、臭氧层的破坏等一系列问题已经迫在眉睫，而解决这些问题的关键是迅速准确地检测到这些有毒、有污染的气体，这便是气敏传感器发展的客观依据。因此，研究气敏传感器对大气进行监控、易燃气体进行报警、有毒气体的进行检测就具有十分重要的意义和实用价值。

本章首先简要介绍了气体传感器的种类，着重介绍了吸收型的光纤气体传感器，然后简述了目前矿井下使用的瓦斯报警仪器的类型和主要缺陷，在本章最后，阐述了本课题的研究意义和应用前景。

1.2 气体传感器的种类

气体传感器是对气体中（多为空气）中所含特定的气体成分（即待测气体）的物理或化学性质迅速感应，并把这一感应状态转换为适当的电信号，从而提供有关待测气体是否存在及其浓度大小信息的传感器。

1.2.1 气体传感器的分类

气体传感器有各种不同的分类方法,从检测对象可分为可燃性气体传感器、毒气传感器、氧气传感器与水蒸气传感器等;从测量信号的方式可分为电流测定型、电位测定型等。但是,更多的是从气体分子与传感器检测元件间的相互作用来分类,可分为:

1. 利用待测气体的物理吸附作用的气敏元件。如湿度传感器,其检测方法有两种。一种是利用吸附水所引起的表面电导率的变化,获得电信号;另一种是由吸附水引起电容变化,由静电电容的变化取得电信号。

2. 利用待测气体的化学吸附与反应的气敏元件。属于这类的主要是对可燃气体敏感的气敏半导体元件,它利用吸附分子的表面化学反应引起表面附近的电子或空穴浓度变化而使表面电导率变化。这类敏感元件有ZnO, SnO₂等,可用于检测可燃性气体、CO、N₂、烃类等。

3. 利用气体成分的反应性,如催化燃烧式可燃性气体传感器。它利用可燃性气体在元件表面催化燃烧时因为温度升高而引起的铂丝电阻变化,测出可燃性气体的浓度。

4. 利用待测气体对固体的分配平衡,如半导体氧敏元件和体电导型半导体可燃性气体敏感元件。属于这类的有TiO₂、CoO等,可用于检测氧气、煤气、液化气、酒精等。

5. 利用气体成分的选择性透过。例如固体电解质氧敏元件。当元件两侧的氧浓度不同时,形成的浓差电池电动势也不同,这样就可以用来测量氧浓度的变化。这类元件有ZrO₂-CaO, ZrO₂-MgO, ZrO₂-Y₂O₃等^[1]。

1.2.2 光纤气体传感器

光纤气体传感技术是从19世纪70年代后期发展起来的新技术。与电传感器相比,光纤传感器具有体积小、重量轻、抗电磁干扰、可远距离遥感等特点,因为电火花可能引起气体爆炸,而光纤传感器所用的光功率很低,

比较安全。不仅如此，由于光纤的频带很宽，传输的信息量大，若采用时分、频分或波分技术，多个传感器可以共用一根光纤，从而实现多点或分布式测量，同时光纤传感器适用于易燃、易爆、防腐等恶劣环境。因此光纤传感器受到了国际上科学研究者们的广泛关注。

限于篇幅，只介绍几种可测量有害气体的吸收型光纤传感器。一些常见的有害气体在近红外波段（1~1.7 μm ），正好是石英光纤的低损耗窗口内有吸收峰（见表1.1）。

如果光源光谱覆盖一个或多个气体吸收线，光通过气体时发生衰减，出射光的信号强度衰减与待测气体的浓度有关。

表1.1 一些气体在近红外的吸收峰

气体名称	化学符号	吸收线波长/ μm
一氧化碳	CO	1.567
二氧化氮	NO ₂	0.8
甲烷	CH ₄	1.665
乙炔	C ₂ H ₂	1.53
氨气	NH ₃	1.554
硫化氢	H ₂ S	1.578

直接吸收型传感器的光纤仅作为传输介质，其敏感元件为一气室，从光纤中射出的光，经输入透镜准直变为平行光，平行光在气室内被气体吸收。有些气体在石英光纤的低损耗窗口内没有较强的吸收峰，或者虽然有吸收峰，但相应波长的光源和检测元件太昂贵，此时解决的方法之一是应用染料指示剂作为中间物来实现间接传感。染料和被测气体发生化学作用，其光学性质产生变化，通过检测这一变化，就能得到被测气体的信息。除

去光纤的部分包层，将染料指示剂涂在光纤表面，把染料指示剂作为光路的一部分，放在输入、输出光纤之间或放在光纤的一端。此类传感器常见的是PH值传感器。

有的化学物质可以通过测量与其相应的荧光辐射来确定其浓度。荧光可以由被测物质产生，也可以由与其相互作用的荧光染料产生。荧光物质吸收具有一定波长的激励光，电子受到激发，从低能级跃迁到高能级，但电子在高能级上停留时间很短，就跃到较低能级，同时发出荧光。荧光辐射的强度及其寿命均与被测物质的浓度有关。测出荧光辐射强度或荧光寿命，就可得知被测物质的浓度。

还有一种测量气体的方法是在光纤表面或端面涂敷一层特殊材料，这种材料的体积或折射率对一些气体敏感。如杂聚硅氧烷(HPS)涂在光纤表面以后，遇到某些气体时其折射率会发生变化；又如，钼膜或四氟乙烯薄膜遇到某些气体时，体积会发生膨胀，从而改变了光程。气体引起的折射率和光程的变化，可用光的干涉方法测出。常用的干涉仪有Michelson干涉仪、M-Z干涉仪、Fabry-Perot干涉仪等。选择干涉仪时，要考虑环境干扰引起的噪声和被测信号的相对大小。

1.3 目前矿下使用的瓦斯报警仪器及存在问题

瓦斯检测是防止煤矿瓦斯爆炸事故的有效措施之一。1815年发明了利用火焰高度的安全灯作为瓦斯检测技术，1923年开始应用热燃烧式催化传感器技术来检测矿井下的瓦斯气体。目前热催化燃烧传感检测技术是瓦斯检测的主要手段。美国、英国、波兰、日本使用的瓦斯检测仪器，80%以上是利用催化原理制成的，还用少量的是利用热导原理和光干涉原理。我国第一台催化原理的瓦斯报警仪是1958年研制的，采用纯铂丝作为传感器；1964年研制出采用载体催化传感器的AQR-1型瓦斯监测仪。在这之后，重庆煤矿安全仪器厂、重庆煤科院、上海煤科院、抚顺煤矿安全仪器厂等单位

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库